

Studi numerik bantalan implan sendi pinggul dengan material CoCrMo terhadap UHMWPE berdasarkan indeks massa tubuh orang Indonesia

Fauzan Akbar^{a,c}, Sugiharto^{a,b,1}, Muki Satya Permana^{a,b}, Toto Supriyono^{a,b}

^aUniversitas Pasundan, Bandung, 40153

^bProgram Studi Teknik Mesin, Universitas Pasundan, Bandung, 40153

^cMahasiswa Program Studi Teknik Mesin Universitas Pasundan

¹Email korespondensi: sugih.sugiharto@unpas.ac.id

Abstract. Damage to the hip joint is a common problem, especially in obese and elderly patients. This can lead to a decline in mobility and quality of life for these patients. This implant replaces natural hip joints damaged by osteoarthritis. The hip joint's original function is maintained, allowing patients to resume their normal activities. The implant consists of two main components: the femoral head and the acetabular cup, made from a combination of polymer and metal. This study aims to evaluate the mechanical performance of the implant via numerical simulations in SolidWorks. The materials used in this simulation are a combination of CoCrMo and UHMWPE. The simulation was conducted using the finite element method based on the force load during the running cycle, adjusted to the body mass index of Indonesians. Load is the primary parameter analyzed for both implant component contacts in SolidWorks. The results show that the combination of contact between CoCrMo and UHMWPE produces a maximum contact pressure of 9.64 MPa, a Von Mises stress of 9.31 MPa, and a displacement of 0.05 mm. This occurs in the seventh phase, the peak force phase, when a person is walking. The observed Von Mises stress remains below the yield stress of both CoCrMo and UHMWPE.

Keywords: Body mass index, CoCrMo, gait cycle, hip joint implants, SolidWorks, UHMWPE

Received: 30 September 2025; **Presented:** 9 October 2025; **Publication:** 9 March 2026

DOI: <https://doi.org/10.71452/0xa95b85>

PENDAHULUAN

Sendi pinggul merupakan komponen utama sistem muskuloskeletal yang berperan krusial dalam menopang beban tubuh dan memfasilitasi berbagai gerakan seperti berjalan, berlari, jongkok, berdiri, serta rotasi. Selama siklus berjalan normal, sendi ini dapat menerima beban hingga dua kali berat badan, sehingga fungsi biomekaniknya menjadi esensial dalam mempertahankan keseimbangan dan efisiensi gerak pada aktivitas sehari-hari.

Osteoarthritis merupakan salah satu penyebab utama penurunan kualitas hidup pada kelompok lansia, individu dengan obesitas, serta penderita cedera sendi menurut WHO. Sehingga pada kondisi ini memicu meningkatnya kebutuhan prosedur *Total Hip Replacement (THR)* [1].

Implan pinggul umumnya terdiri dari *femoral head* berbahan logam seperti CoCrMo, SS316L, atau Ti6Al4V, serta *acetabular cup* umumnya menggunakan material UHMWPE (*Ultra High Molecular Weight Polyethylene*). Meskipun UHMWPE banyak digunakan, terdapat kekhawatiran terkait potensi respon biologis negative akibat partikel polietilen yang dapat memicu terjadinya *osteolisis* [2]. Kombinasi material tersebut dirancang untuk membentuk sendi buatan yang mampu meniru fungsi gerak sendi pinggul serta menahan beban tinggi secara berulang.

Salah satu tantangan utama pada penerapan implan sendi berkaitan dengan interaksi mekanis antara permukaan logam dan metal-polimer yang meliputi tegangan kontak, deformasi, serta degradasi permukaan. Meskipun UHMWPE memiliki sifat tribologis yang unggul [3] material ini tetap rentan terhadap mekanisme keausan ketika mengalami tegangan berlebih atau gesekan langsung secara terus-menerus. Mekanisme keausan tersebut tidak hanya menurunkan ketahanan fungsional implan, tetapi juga berpotensi memicu respons inflamasi akibat pelepasan partikel ke jaringan sekitar, yang pada akhirnya dapat menyebabkan komplikasi seperti osteolisis dan pelonggaran aseptik.

Gait cycle (siklus berjalan) memiliki dua fase utama, yaitu *stance phase* (0–60% siklus), yang merupakan fase saat kaki menyentuh permukaan tanah. Fase dimulai dari *heel strike*, dilanjutkan ke *foot flat*, *midstance*, *heel off*, hingga *toe off*. Dari 60–100% siklus dinamakan *swing phase*, di mana kaki tidak menyentuh tanah dan bergerak ke depan untuk memulai langkah berikutnya.

Pasien yang telah menjalani operasi penggantian sendi pinggul dengan implan pinggul total akan melakukan aktivitas berjalan sebagai aktivitas sehari-hari kembali. Untuk memberikan kondisi fisiologis yang sesuai dengan kondisi sebenarnya pada sendi pinggul manusia, beban diberikan dengan kondisi berjalan. Menurut Jamari et al., untuk satu siklus yang

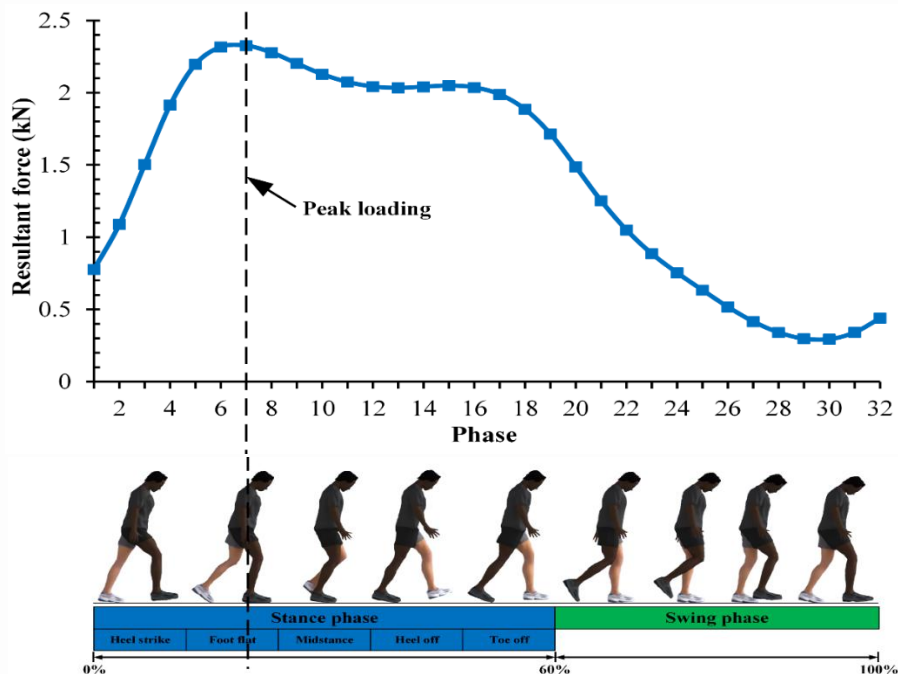
disederhanakan menjadi 32 fase, tanpa mempertimbangkan jangkauan gerak seperti yang dilakukan oleh Basri et al. yang dijelaskan di atas, fase 1–19 disebut sebagai "*stance phase*", yang mewakili 60% awal dari siklus berjalan, sedangkan fase 20–32 disebut sebagai "*swing phase*", yang mewakili 40% akhir dari siklus berjalan. Pada prosedur Total Hip Arthroplasty (THA), struktur kepala femur yang mengalami kerusakan total direseksi dan digantikan dengan komponen prostetik. Komponen ini meliputi batang logam (*femoral stem*) yang diimplantasikan ke dalam kanal meduler tulang paha, serta *femoral head* yang umumnya terbuat dari material logam atau keramik. Kedua komponen tersebut bekerja secara sinergis dengan bagian *acetabular* yang ditanamkan pada struktur pinggul untuk memulihkan fungsi sendi.

Penelitian sebelumnya tentang simulasi komputasi tekanan kontak dan keausan pada prosthesis pinggul total *hard-on-soft* dengan mempelajari bantalan Al203-on-UHMWPE, CoCrMo-on-UHMWPE, dan ZrO2-on-UHMWPE yang dilakukan oleh Shankar dan Nithyaprakash[9]. Merujuk pada studi sebelumnya, analisis komputasi terhadap tekanan kontak pada bantalan logam prosthesis sendi pinggul umumnya difokuskan pada konfigurasi logam ke logam. Namun, kajian yang menitikberatkan pada pasangan kontak logam-on-UHMWPE masih terbatas, padahal

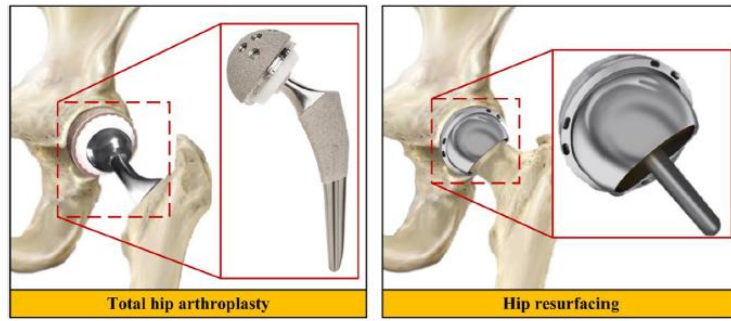
pendekatan tersebut berpotensi memberikan wawasan dalam pemilihan material logam yang efektif untuk menurunkan tekanan kontak serta meminimalkan laju keausan.

Sejumlah penelitian terdahulu belum mempertimbangkan karakteristik plastik nonlinier UHMWPE dalam pemodelannya, meskipun faktor tersebut berpotensi memengaruhi akurasi hasil simulasi komputasi. Studi terkait bantalan pada *Total Hip Arthroplasty (THA)* umumnya difokuskan pada geometri sendi pinggul khas Eropa dan pemilihan material yang mengacu pada standar negara maju. Namun demikian, kajian yang memanfaatkan geometri sendi pinggul khas Indonesia yang banyak digunakan oleh populasi Asia serta pemilihan material yang relevan dengan kebutuhan negara berkembang masih jarang ditemukan.

Penelitian ini bertujuan mengurangi tekanan kontak pada pasangan bantalan bantalan logam-UHMWPE pada prosthesis sendi pinggul total melalui evaluasi berbagai jenis material logam untuk *femoral head* di bawah kondisi *gait cycle*. Analisis elemen hingga tiga dimensi dengan pendekatan sumbu simetris dilakukan berdasarkan ukuran geometri sendi pinggul khas Indonesia guna memperoleh evaluasi yang komprehensif terhadap distribusi tekanan kontak.



Gambar 1. Gait Loading [4]



Gambar 2. Arthroplasty sendi pinggul total[10]

METODOLOGI

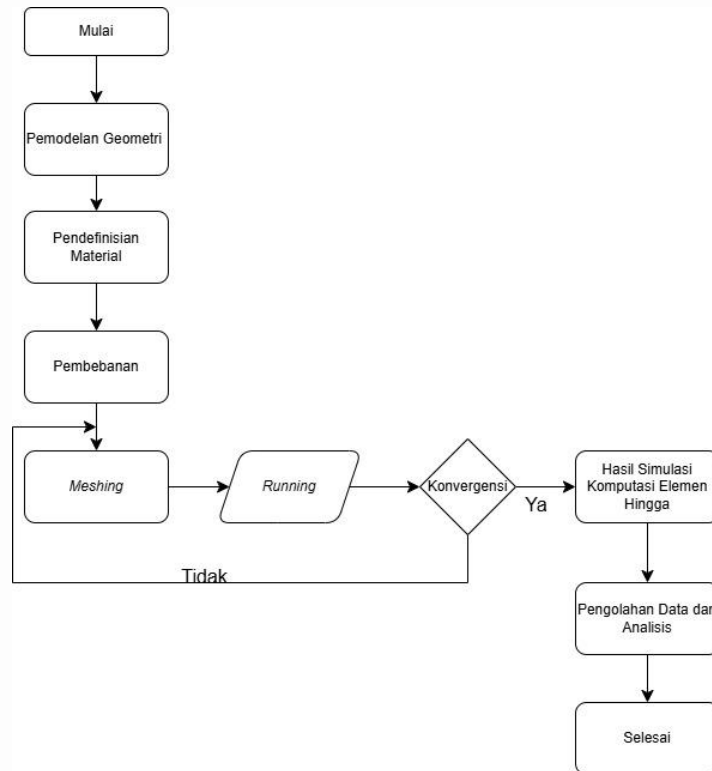
Penelitian ini dilakukan menggunakan pendekatan *Finite Element Method* untuk menganalisis perilaku mekanik objek yang diteliti. Secara umum, alur metodologi dapat dilihat pada Gambar 3 yang menjelaskan tahapan dari penelitian.

Alur penelitian

Flowchart pada Gambar 3 menunjukkan tahapan simulasi menggunakan metode elemen hingga yang digunakan dalam penelitian ini. Proses diawali dengan

pemodelan geometri secara 3 dimensi, diikuti oleh pendefinisian material, yaitu material CoCrMo untuk femoral head dan UHMWPE untuk material acetabular cup. Setelah pendefinisian material, dilakukan pembebanan sesuai kondisi. Selanjutnya dilakukan meshing, Meshing yang digunakan adalah curvature-based mesh dengan tipe solid mesh.

Apabila hasil simulasi belum tercapai, dilakukan penyesuaian parameter dan pengulangan simulasi. Setelah konvergensi tercapai, diperoleh hasil simulasi *Finite Element Method*



Gambar 3. Alur penelitian

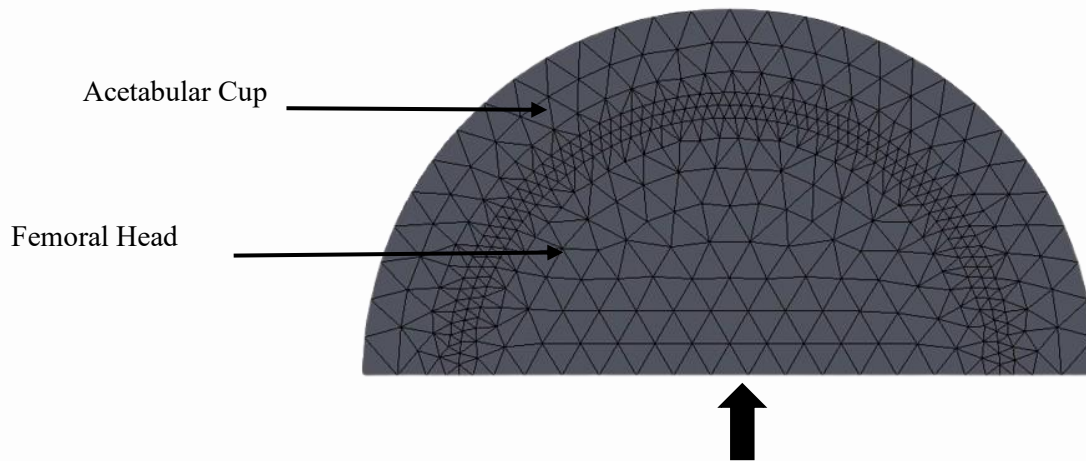
Finite Element

Femoral head dan *acetabular cup* digambarkan secara tiga dimensi menggunakan SolidWorks pemodelan geometri ukuran bantalan yang cocok pada sendi pinggul Indonesia umumnya berada pada ukuran 28 mm untuk diameter *femoral head*, 5 mm untuk

ketebalan *acetabular cup*, dan 0.05 untuk radial clearance nya [5].

Materials Properties

Kekasaran kontak antarmuka dua benda didapat dari koefisien gesek. Koefisien gesek ini diperlukan dalam sebuah simulasi komputasi untuk menunjukkan kondisi kekasaran antarmuka bantalan.



Gambar 2. Model tiga dimensi acetabular cup dan femoral head

Tabel 1. Data koefisien gesek dan Poisson's Ratio untuk material kombinasi

Material Component		Coefficient of Friction	Poisson's Ratio	References
Femoral Head	Acetabular Cup			
CoCrMo	UHMWPE	0.11		[5]
SS316L	UHMWPE	0.1		[2]
Ti6Al4V	UHMWPE	0.0561		[2]

Tabel 2. Data sifat mekanis material kombinasi

Components	Materials	Yield Strenght (MPa)	References
Femoral Head	CoCrMo	450	[6]
	SS316L	170	[7]
	Ti6Al4V	827	[8]
Acetabular Cup	UHMWPE	23	[9]

Tabel 3. Hasil simulasi 3 dimensi fase ke-7

	CoCrMo - UHMWPE			
	1 Phase	7 Phase	32 Phase	
von Mises stress	2,84 MPa 	9,31 MPa 	1,60 MPa 	
Displacement	0,02 mm 	0,05 mm 	0,008 mm 	
Contact Pressure	2,94 MPa 	9,64 MPa 	1,66 MPa 	

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 3 menampilkan hasil simulasi numerik yang dilakukan pada material kombinasi CoCrMo – UHMWPE. Fase ke-7 merupakan fase puncak sehingga pada tegangan memiliki nilai sebesar 9,91 MPa, *displacement* sebesar 0,05 mm, dan tekanan kontak sebesar 9,64 MPa.

Fase ke-7 dari *gait cycle* teridentifikasi sebagai fase paling kritis karena menghasilkan nilai maksimum pada tegangan, perpindahan, dan tekanan kontak. Kondisi ini penting dalam menilai daya tahan material implan terhadap pembebanan berulang. Kombinasi dari material CoCrMo – UHMWPE ini menunjukkan kinerja mekanik yang masih berada dalam batas aman, namun besarnya tekanan kontak pada permukaan UHMWPE dapat mempercepat proses keausan yang berpotensi memengaruhi umur pakai implan pinggul dalam jangka panjang.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada model dua dimensi nilai tekanan kontak maksimum tercatat sebesar 10,532 MPa, sedangkan pada model tiga dimensi diperoleh 9,64 MPa. Memiliki selisih sebesar 0,892 MPa atau sekitar 8,47% ini mengindikasikan bahwa pendekatan dimensi memengaruhi hasil prediksi tekanan kontak.

KESIMPULAN

Hasil simulasi numerik menggunakan metode elemen hingga menunjukkan bahwa kombinasi material CoCrMo–UHMWPE pada bantalan implan sendi pinggul masih berada dalam batas aman terhadap pembebanan fisiologis. Fase ke-7 dari *gait cycle* teridentifikasi sebagai fase paling kritis karena menghasilkan nilai tegangan, perpindahan, dan tekanan kontak tertinggi. Pada fase ini, tekanan kontak maksimum tercatat sebesar 9,64 MPa pada simulasi tiga dimensi, sedangkan simulasi dua dimensi menunjukkan nilai 10,532 MPa. Selisih sekitar 8,47% menegaskan bahwa pendekatan pemodelan berpengaruh terhadap akurasi estimasi beban kontak, dengan model tiga dimensi memberikan representasi yang lebih realistis terhadap distribusi tegangan.

Kombinasi CoCrMo–UHMWPE memperlihatkan distribusi tegangan yang relatif merata dan ketahanan mekanik yang baik, sehingga dapat dianggap sebagai pilihan material yang unggul untuk implan pinggul, meskipun UHMWPE tetap menunjukkan potensi keausan akibat beban berulang. Oleh karena itu, pemilihan material dan metode simulasi perlu dipertimbangkan secara cermat dalam upaya meningkatkan keandalan dan memperpanjang umur pakai implan.

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa evaluasi berbasis simulasi tiga dimensi merupakan pendekatan yang lebih tepat dalam analisis biomekanik implan pinggul. Hasil yang diperoleh dapat menjadi acuan bagi pengembangan desain dan pemilihan material implan yang lebih adaptif terhadap kondisi fisiologis pasien, khususnya berdasarkan indeks massa tubuh populasi Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T.P. Soemardi, A. Suwandi, A.S. Ibrahim, Analisis Karakteristik Material UHMPWE dan PEEK untuk Implan Sendi Pinggul, *JTERA (Jurnal Teknol. Rekayasa)* 5 (2020) 303. <https://doi.org/10.31544/jtera.v5.i2.2020.303-310>.
- [2] J. Jamari, M.I. Ammarullah, G. Santoso, S. Sugiharto, T. Supriyono, A.T. Prakoso, H. Basri, E. van der Heide, Computational Contact Pressure Prediction of CoCrMo, SS 316L and Ti6Al4V Femoral Head against UHMWPE Acetabular Cup under Gait Cycle, *J. Funct. Biomater.* 13 (2022). <https://doi.org/10.3390/jfb13020064>.
- [3] S.A. Wibowo, Analisa Sifat Mekanik Uhmwpe Crosslinked dengan Electron Beam Irridiation untuk Aplikasi Acetabular Cup pada Hip Joint, (2018).
- [4] J. Jamari, M. Imam, G. Santoso, S. Sugiharto, Heliyon Adopted walking condition for computational simulation approach on bearing of hip joint prosthesis: review over the past 30 years, *Heliyon* 8 (2022) e12050. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12050>.
- [5] M.I. Ammarullah, G. Santoso, S. Sugiharto, T. Supriyono, O. Kurdi, Tresca stress study of CoCrMo-on-CoCrMo bearings based on body mass index using 2D computational model, 33 (2022) 31–38.
- [6] Ltd. Heanjia Super-Metals Co., “Cobalt-Chromium Alloy CoCrMo Data Sheet.” Accessed: Sep. 10, 2025. [Online]. Available: <http://www.super-metals.com>.
- [7] Azom, Stainless Steel 316/316L (UNS S31600), Heanjia Super-Metals Co. 10 (2018) 3. www.super-metals.com.
- [8] “Titanium 6AL-4V Data Sheet Rev 01,” 2020. Accessed: Sep. 10, 2025. [Online]. Available: <https://www.titanium.com>.
- [9] S. Shankar, R. Nithyaprakash, Predicting The Wear of Soft-on-Hard Bearing Couples for Human Hip Prosthesis Using Finite Element Concepts, *J. Mech. Med. Biol.* 16 (2015) 1650020. <https://doi.org/10.1142/S0219519416500202>.
- [10] J. Jamari, M. Imam, G. Santoso, S. Sugiharto, Heliyon Adopted walking condition for computational simulation approach on bearing of hip joint prosthesis: review over the past 30 years, *Heliyon* 8 (2022) e12050. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12050>.